



# РОЛЬ ТЕЛОЗАМЕЩАЮЩИХ ИМПЛАНТАТОВ РАСШИРЯЕМОГО ТИПА В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ГРУДНЫХ И ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

**С.Д. Шувалов, А.Е. Шульга, С.П. Бажанов, В.В. Островский, В.С. Толкачев**

Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия

**Цель исследования.** Систематический анализ современных научных данных, характеризующих клиническую эффективность расширяемых телозамещающих имплантатов в комплексном хирургическом лечении пациентов с травмами грудного и поясничного отделов позвоночника.

**Материал и методы.** Поиск научных источников осуществляли в соответствии с рекомендациями Кокрейновского руководства и принципами PRISMA в базах данных Кокрейновской библиотеки, PubMed и Medline за период 2015–2025 гг. Проанализировано 19 публикаций, посвященных рентгенологическим и функциональным результатам применения раздвижных эндофиксаторов при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника.

**Результаты.** В последние десятилетия отмечается активное развитие технологий хирургии позвоночника. Совершенствование малоинвазивных методик потребовало модификации имплантируемых конструкций, включая устройства для переднего опорного спондилодеза. Особый интерес представляют имплантаты с трансформируемой геометрией, которые позволяют замещать дефекты позвоночника, значительно превышающие их исходные размеры. Современные телескопические эндофиксаторы различаются материалом изготовления и механизмом трансформации. В литературе описаны успешные случаи их применения при травмах грудного и поясничного отделов позвоночника. Авторы демонстрируют благоприятные исходы операций с использованием комбинаций винтового спондилосинтеза и межтеловых имплантатов.

**Заключение.** Расширяемые эндофиксаторы характеризуются широким спектром применения в лечении травм позвоночника. Благодаря появлению у межпозвонковых эндофиксаторов механизмов вертикального лифта, наметилась тенденция к модификации хирургической техники, в частности к изменению последовательности этапов вмешательства. Несмотря на различия в подходах, специалисты отдают предпочтение малоинвазивной установке имплантатов, при этом рентгенологические и функциональные результаты не имеют значимых различий.

**Ключевые слова:** травматический перелом позвонка; корпорэктомия; реконструкция позвоночника; спондилосинтез; расширяемый имплантат.

Для цитирования: Шувалов С.Д., Шульга А.Е., Бажанов С.П., Островский В.В., Толкачев В.С. Роль телозамещающих имплантатов расширяемого типа в хирургическом лечении пациентов с повреждениями грудных и поясничных позвонков: систематический обзор // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 4. С. 30–41. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.4.30-41>

THE ROLE OF EXPANDABLE CAGES FOR VERTEBRAL BODY REPLACEMENT IN SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH THORACIC AND LUMBAR SPINE INJURIES: A SYSTEMATIC REVIEW

S.D. Shuvalov, A.E. Shulga, S.P. Bazhanov, V.V. Ostrovskij, V.S. Tolkachev

Saratov State Medical University n.a V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

**Objective.** To perform a systematic analysis of contemporary scientific data characterizing the clinical effectiveness of expandable implants for vertebral body replacement in the complex surgical treatment of patients with thoracic and lumbar spine injuries.

**Material and Methods.** The search for scientific sources was carried out in accordance with the recommendations of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions and the PRISMA principles in the Cochrane Library, PubMed and Medline databases for the period 2015–2025 a total of 19 studies on the radiological and functional outcomes of the surgeries involving implantation of expandable spinal cages for thoracic and lumbar spine injuries were analyzed.

**Results.** The technologies for spinal surgery have been developing rapidly over the recent decades. The improvements in minimally invasive techniques have required modifications to implants including those for anterior support spinal fusion. The implants of transformable geometry which allow the replacement of spinal defects that significantly exceed their original dimensions are of particular interest. The contemporary expandable spinal cages vary in the material they are made from and their transformation mechanisms. The literature

describes successful cases of their use in thoracic and lumbar spine injuries. The authors demonstrate favorable surgical outcomes using combinations of screw-assisted fusion and interbody implants.

**Conclusion.** Expandable spinal cages feature a wide range of applications in the treatment of spinal injuries. The advent of vertical lift mechanisms in intervertebral implants has led to a trend towards modifying surgical techniques, particularly the sequence of intervention stages. Despite differences in approaches, specialists favor minimally invasive implant placement, with radiographic and functional results showing no significant differences.

**Key Words:** traumatic vertebral fracture; corpectomy; spinal reconstruction; spondylodesis; expandable implant.

Please cite this paper as: Shuvalov SD, Shulga AE, Bazhanov SP, Ostrovskij VV, Tolkachev VS. The role of expandable cages for vertebral body replacement in surgical treatment of patients with thoracic and lumbar spine injuries: a systematic review. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(4):30–41. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.4.30-41>

Повреждения грудных и поясничных позвонков составляют до 70 % всех травм позвоночного столба [1]. В наибольшей степени травматизму подвержен грудопоясничный отдел (Th<sub>11</sub>–L<sub>2</sub>), что обусловлено его анатомической локализацией и особенностями сагittalной биомеханики [2, 3]. Урбанизация мегаполисов, увеличение ритма жизни, а также числа локальных военных конфликтов служат причинами неуклонного роста пострадавших [1, 4], а социальная значимость данной проблемы обусловлена тяжелой инвалидизацией, которая, по мнению разных авторов, колеблется от 30,2 до 51,0 % [1, 3, 4].

Хирургические вмешательства при травмах грудного и поясничного отделов позвоночника направлены на максимально раннюю активизацию пациентов, что достигается посредством стабилизации поврежденного сегмента металлоконструкциями различного типа [1]. В частности, наибольшее распространение получила транспедикулярная фиксация, позволяющая из дорсального доступа осуществить внеочаговый спондилосинтез [1–3]. Тем не менее при проникающих переломах зачастую возникает необходимость в резекции тела поврежденного позвонка с целью декомпрессии нервральных структур [2–4]. Кроме того, спондилэктомия может потребоваться в случаях оскольчатых переломов (типов A3 и A4 по AO/Spine), а также для сегментарного релиза при ригидных посттравматических кифозах [5, 6]. Так, формируется широкий дефект центральной колонны, который исключает ее опорность

и требует замещения имплантатом, выполняющим несущую функцию.

Рутинное применение переднего спондилодеза началось в 1950-х гг. [5]. Первоначально резецированный участок позвоночного столба заполнялся ауто- либо аллогностным трансплантом [7]. В дальнейшем с этой целью использовали имплантаты из неорганических материалов, которые обладали большей устойчивостью к аксиальным нагрузкам. Новой вехой в центральной хирургии позвоночника стал титановый сетчатый эндофиксатор (Harms – Korb), предложенный Harms в 1986 г. [8, 9]. Данное устройство до настоящего времени находит применение в хирургической вертебрологии, а на протяжении многих лет считалось основным [6, 8, 9]. Тем не менее большой опыт его использования выявил ряд недостатков, ключевым из которых является низкая точность подбора протяженности эндофиксатора под величину костного дефекта [6, 8, 10]. В этой связи с серединией 1990-х гг. началась разработка устройств, позволяющих регулировать величину имплантата непосредственно в зоне резекции [5, 6, 8]. Следующий этап развития технологий опорного межтелевого спондилодеза обусловлен эрой малоинвазивной хирургии [2]. Установка эндофиксатора в условиях ограниченного визуального и мануального контроля, а также необходимость существенного увеличения высоты устройства *in situ* послужили причинами внедрения с конца 2000-х гг. имплантатов нового типа [5, 10]. Принципиальным отличием современных расширяемых устройств является механизм верти-

кального лифта, обеспечивающий прямую реконструкцию межтелевого про- межутка [7, 10, 11].

Большое число публикаций, посвященных данной проблеме, подчеркивает ее актуальность и требует анализа роли и места этих устройств в структуре современного хирургического лечения травмы позвоночника.

Цель исследования – систематический анализ современных научных данных, характеризующих клиническую эффективность расширяемых телозамещающих имплантатов в комплексном хирургическом лечении пациентов с травмами грудного и поясничного отделов позвоночника.

## Материал и методы

В соответствии с рекомендациями Кокрейновского руководства по систематическим обзорам [12] и с рекомендациями по предпочтительным элементам отчетности для систематических обзоров и метаанализов PRISMA [13] провели систематический обзор литературы. Протокол обзора предварительно не регистрировали.

Поиск литературы осуществляли в базах данных (на платформах) Кокрейновской библиотеки, PubMed, Medline с момента публикации первой статьи до февраля 2025 г., без ограничений по уровню доказательности или статусу публикаций. Поиск в каждой базе выполняли отдельно с использованием индивидуально адаптированных стратегий поиска. Дополнительно осуществили ручной просмотр списков литературы включенных исследований для выявления потенциально релевантных публи-

каций. Контактов с авторами статей для получения дополнительных данных не было.

Поиск выполняли с использованием терминов и ключевых слов: травматический перелом позвонка, корпоректомия, реконструкция позвоночника, спондилосинтез, расширяемый имплантат.

В систематический обзор включены исследования, соответствующие следующим критериям:

- ретроспективные рандомизированные клинические исследования;
- возраст пациентов старше 18 лет;
- одноуровневые травматические переломы позвонков грудопоясничного отдела от  $T_{h10}$  до  $L_2$  взрывного типа, оперированные в объеме декомпрессии содержимого позвоночного канала и невральных структур путем корпоректомии с последующим корпородезом раздвижными эндофиксаторами с различными механизмами трансформации;
- минимальный срок катамнеза 12 мес.;

– наличие в каждой группе (со сращением/без сращения) не менее семи пациентов;

– доступность клинических и рентгенологических данных до и после операции.

Критерии исключения представлены исследованиями, которые не соответствуют целям анализа и подлежат удалению на этапах скрининга: экспериментальные исследования, многоуровневые переломы, дегенеративные и онкологические заболевания.

Первичный отбор проводили два независимых рецензента по названиям и аннотациям, затем просматривали полнотекстовые варианты работ. Разногласия на этапах рассмотрения названия, аннотации или полного текста статьи решали путем обсуждения между рецензентами и старшим автором. Дубликаты удаляли с использованием автоматической функции в программе Zotero, с последующей ручной проверкой.

Данные извлекали два независимых исследователя. Были получены следующие результаты: общая информа-

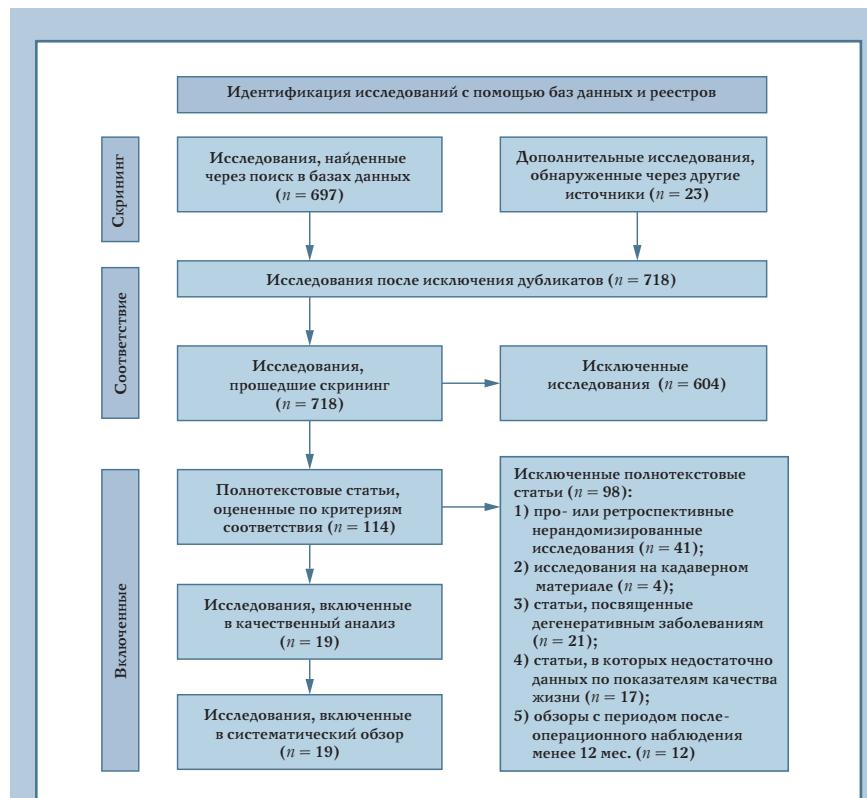
ция о публикации; количество пациентов; вид раздвижного эндофиксатора, использованного для корпородеза; данные о показателях качества жизни до и после операции.

В результате поиска было найдено 697 публикаций в базах данных и дополнительно 23 при ручном поиске. После удаления дубликатов осталось 718 статей для первичного скрининга. После оценки названий и аннотаций исключено 604 статьи. Полные тексты 114 статей изучили более подробно, из них 95 исключили по следующим причинам: ретроспективные нерандомизированные исследования ( $n = 41$ ), исследования, проводимые на кадаверном материале ( $n = 4$ ), статьи, посвященные дегенеративным заболеваниям ( $n = 21$ ), недостаточно данных по показателям качества жизни ( $n = 17$ ), обзоры со сроком наблюдения менее 12 мес. ( $n = 12$ ). Таким

образом, в итоговый анализ включили 19 исследований. Визуальное отображение процесса отбора статей представлено на рис.

В связи с гетерогенным характером включенных исследований, которые существенно различались по дизайну (ретроспективные когортные исследования, серии случаев), используемым хирургическим техникам (виды доступов, комбинации с фиксацией), типам имплантатов и оцениваемым исходам, проводить количественный синтез данных (метаанализ) было признано нецелесообразным.

Несмотря на то что количественный синтез (метаанализ) не представлялся возможным из-за значительной методологической и клинической гетерогенности включенных исследований, провели качественную оценку риска систематической ошибки. Для этого использовали инстру-



**Рис.**

Схематическое изображение стратегии систематического поиска в соответствии с рекомендациями PRISMA

мент ROBINS-I (Risk Of Bias In Non-randomized Studies – of Interventions) в адаптированной форме, поскольку все включенные работы являлись нерандомизированными исследованиями (ретроспективные когорты, серии случаев). Оценка проводилась по семи ключевым доменам: смещение вследствие отбора участников, классификации вмешательства, отклонения от запланированного вмешательства, отсутствия данных, измерения исходов и выбора отчетного результата. Большинство исследований продемонстрировали умеренный или серьезный риск систематической ошибки, преимущественно в доменах отбора участников (отсутствие рандомизации и контрольных групп) и измерения исходов (отсутствие ослепления оценщиков, использование невалидированных критериев оценки рентгенологических результатов). Исследования, в которых применяли стандартизированные протоколы оценки функциональных исходов (например, вопросы качества жизни) и рентгенологические замеры, выполненные независимыми экспертами, оценивали как имеющие низкий риск смещения в соответствующих доменах. Однако в целом из-за преобладания ретроспективного дизайна и отсутствия сравнительных групп общий риск систематической ошибки по всем включенным исследованиям можно охарактеризовать как умеренно высокий, что ограничивает силу выводов обзора и требует осторожности при интерпретации результатов.

## Результаты и их обсуждение

Эволюция методик переднего спондилодеза и устройств для его реализации неразрывно связана с историческими этапами становления хирургической вертебрологии. Этот процесс привел к созданию статичных имплантатов, которые изначально обеспечивали надежную фиксацию. Однако рутинное применение комбинированной (posterior/anterior) стабилизации выявило существенный недостаток такого типа эндопротезов, обусловив

ленный сложностью их точной адаптации под размер замещаемого дефекта. Установка такого эндофиксатора между позвонками в условиях жесткой дорсальной инструментализации нередко приводила к повреждению замыкательных пластин и, как следствие, нестабильной фиксации [6, 7, 10, 16, 18]. Данное обстоятельство создало предпосылки для разработки устройств с возможностью регулировки высоты непосредственно в зоне имплантации. Первые раздвижные эндофиксаторы для опорного спондилодеза появились в середине 1990-х гг. и в течение нескольких лет прочно вошли в стандартную хирургическую практику [5, 6, 11]. Установка этих устройств осуществлялась из классических (открытых) доступов к передним отделам позвоночного столба, после чего выполнялось их заклинивание между позвонками путем постепенного раскрытия при помощи механизмов различного типа (винтовой, червячный).

Таким образом, ключевым преимуществом первых раздвижных имплантатов перед статичными стала возможность их плотного размещения между смежными позвонками, наряду с минимальным риском повреждения костной ткани [6, 11, 18]. Эндофиксаторы данного типа обозначили принципиально новое направление в технологии опорного спондилодеза, которое в дальнейшем легло в основу концепции прямой реконструкции передней опорной колонны [6, 8, 18, 19]. Большую роль в трансформации хирургической идеологии и конструктивных особенностей имплантатов сыграла общемировая тенденция к малоинвазивности вмешательств, наметившаяся в вертебрологии с середины 2000-х гг. [20–24]. Активно внедряющиеся торакоскопические доступы и мини-люмботомии резко сократили объем прямого визуального контроля и мануальные возможности хирурга, что в свою очередь предъявило новые требования к устройствам для спондилодеза. В частности, необходимость доставки эндофиксатора через узкий рабочий порт способствовала разра-

ботке рукояток, позволяющих жестко зафиксировать имплантат, разместить его в зоне резекции и передать усилие хирурга на расширяющий механизм [6, 20, 23, 24]. Вершиной развития технологий опорного спондилодеза является концепция прямой реконструкции высоты межтелового промежутка, которая реализовалась благодаря появлению устройств с функцией вертикального лифта [6, 15, 22]. Имплантаты данного типа в процессе контролируемого расширения создают достаточное для коррекции сагиттального профиля усилие, при этом имеют возможность существенного увеличения своей высоты (относительно сложенного состояния), что значительно облегчает их установку в зону резекции [6, 11, 18, 24]. Вышеописанные концептуальные и технические решения ключевым образом повлияли на тактику хирургического лечения как острых повреждений позвоночника, так и фиксированных посттравматических деформаций [6, 14, 18]. Открытым остается вопрос формирования условий для костно-металлического блока из-за сложности заполнения имплантата аутокостью, однако внедрение пластичных остеоиндуктивных материалов отчасти стало решением данной проблемы.

### Типы раздвижных эндофиксаторов и их механические особенности

За последние два десятилетия предложено большое количество расширяемых устройств с разными конструктивными особенностями. Анализ актуальных публикаций показал, что принципиальным отличием современных имплантатов является механизм вертикального лифта, обеспечивающий прямую реконструкцию межтелового промежутка. В зависимости от способа передачи внешнего усилия на расширяющий модуль эндофиксатора в настоящее время выделяют механический и гидравлический типы устройств (табл. 1). Как свидетельствуют литературные источники, в механических конструкциях наиболее часто используется система винтового лифта, представленная врачающимися цилиндрами, движение которых задается специальным инструмен-

Таблица 1

Биомеханические особенности механизмов раздвижных эндофиксаторов

Характеристика	Гидравлическая конструкция устройства	Механическая конструкция устройства	
		Винтовой механизм	Храповый механизм
Материал	Титан (Ti6Al4V)	Титан (Ti6Al4V); PEEK	Титан (Ti6Al4V)
Механизм расширения	Гидравлический (0,9 % стерильный раствор NaCl)	Винтовой механизм расширения ( <i>in situ</i> )	Самоблокирующийся храповый механизм
Точность расширения	Непрерывная регулировка	Непрерывная регулировка высоты	Дискретное расширение (фиксированный шаг по 2,5 мм)
Фиксирующий механизм	Осевая фиксация (12 Nm)	Стопорный винт	Расширительное кольцо

том через зубчатую передачу [18, 24]. Помимо винтовых устройств, к группе механических эндофиксаторов можно отнести имплантаты храпового типа, раскрывающиеся посредством дистракции [5, 11]. Публикации, касающиеся гидравлических устройств, встречаются гораздо реже, тем не менее наличие лицензированных имплантатов этого типа [14, 25] и данных об успешном применении позволили нам рассматривать их в качестве альтернативной группы.

Принимая во внимание тот факт, что результаты хирургического лечения могут во многом определяться техническими характеристиками эндофиксатора, были систематизированы источники литературы, анализирующие конструктивные особенности механических и гидравлических устройств в аспекте их клинико-рентгенологической эффективности.

Механические имплантаты для опорного спондилодеза являются высокотехнологичными ортопедическими устройствами, имеющими возможность трансформировать продольный размер посредством раскручивания или раздвигания. Основа конструкции представлена двумя полыми перфорированными цилиндрами, выполненными из биосовместимых материалов.

В случае винтового лифта эти элементы сочленяются между собой резьбовым соединением. Сложенный эндофиксатор жестко фиксируется на установочной рукоятке и имплантируется между позвонками, после чего вращением внутренней части рукоят-

ки через зубчатую передачу задается циркуляция поворотному модулю наружного цилиндра, который, в свою очередь, имеет резьбовое соединение с внутренним цилиндром. Благодаря непрерывной резьбе, нарезанной вдоль всего внутреннего цилиндра, обеспечивается его равномерное выкручивание, тем самым достигается линейное расширение имплантата [10, 33]. Устройства на основе винтового лифта получили наибольшее распространение и выпускаются под брендами ведущих медицинских компаний. Основным достоинством этих систем является плавность расширения, которая во многом зависит от характеристик резьбы (профиль, шаг), заявленных конкретным производителем. Сочетанная работа зубчатой передачи и вертикального лифта позволяет создать равномерное дистракционное усилие, достаточное для сегментарной коррекции сагittalного профиля [11, 18]. Тем не менее, как считают ряд авторов [7, 10], чрезмерное механическое воздействие и жесткость конструкции создают локальные зоны повышенного напряжения в местах контакта площадок имплантата с замыкателями пластинами позвонков. В этой связи рекомендуется добиваться их максимальной конгруэнтности путем подбора углов контактных поверхностей под физиологические изгибы позвоночника [11, 19]. Особая осторожность необходима при использовании данного типа эндофиксаторов у больных со сниженной минеральной плотно-

стью костной ткани, когда риск пролапса замыкательных пластин возрастает в разы [14, 18, 19]. В некоторых исследованиях обращается внимание на тот факт, что сочетание расширяемых имплантатов винтового типа с опорными площадками увеличенной площади значительно улучшает клинико-рентгенологические исходы хирургического лечения пациентов с остеопорозом [8, 11, 14, 19].

В механических эндофиксаторах дистракционного типа внутренний и наружный элементы (цилиндры) соединяются посредством аналога храпового механизма [5, 18]. Установочный инструментарий представляет собой расширитель с двумя браншами, одна из которых закрепляется на несущем (нижнем) цилиндре, а вторая фиксирует дистальный конец мобильной части имплантата (верхний цилиндр). После правильного расположения устройства между позвонками выполняется дистракция элементов эндофиксатора, при этом происходит заклинивание зубовидных ступеней, находящихся на стенах верхнего цилиндра в стопорном кольце нижнего цилиндра. Плавность расширения такого имплантата определяется высотой ступеней самоблокирующего модуля [6, 9, 18]. К примеру, в наиболее известном устройстве этого типа SynEx заклинивание происходит через каждые 2,5 мм [18]. Таким образом, несмотря на простоту и надежность храпового механизма, данные системы не могут обеспечить равномерного вертикального лифта,

а следовательно, существенно возрастает риск гиперэкстензии оперируемого позвоночного сегмента. Как указывают литературные источники [7, 10, 14, 18], неблагоприятные последствия чрезмерного механического воздействия на замыкательные пластины позвонков наиболее часто возникают при использовании имплантатов дистракционного типа. По всей видимости, для применения этих устройств должны быть сформулированы более четкие показания, особенно у лиц с низкой минеральной плотностью костной ткани.

Системы с гидравлическим механизмом расширения являются относительно новым направлением в технологии опорного спондилодеза, тем не менее имеющиеся публикации позволяют сделать выводы об их биомеханических особенностях и клинической эффективности. Конструкция данных устройств (в частности, Hydrolift, Aesculap AG) представлена корпусом из биоинертных материалов с интегрированной в него гидравлической системой, состоящей из расширяемой полимерной камеры, жидкостного резервуара и клапанного механизма. Мобильной (выдвигающейся) частью имплантата служит цилиндрический узел, встроенный в основной корпус над полимерной камерой. Концы эндофиксатора снабжены опорными площадками с регулируемым углом наклона. Установочный инструментарий представляет собой тубус, на котором закрепленное устройство доставляется в межтеловой промежуток. Данное оборудование используется для всех последующих манипуляций. В частности, после размещения имплантата через тубус проводится гидравлический аппарат, через который под давлением (до 30 bar) подается стерильный физиологический раствор. Благодаря контролируемому нагнетанию давления и расширению полимерной камеры достигается плавный выход мобильной части эндофиксатора, что обеспечивает дозированное расширение и высокую точность коррекции. После реализации основных целей операции

затягивается осевой зажим имплантата (блокирующий обратное вытекание физраствора) и последовательно демонтируется гидравлический аппарат с установочным тубусом. Конструктивную специфику также имеют опорные площадки, которые за счет свободного осевого люфта (в пределах 10°), упираясь в замыкательные пластины позвонков, саморегулируются под углы физиологических искривлений позвоночника. По достижении сегментарной коррекции площадки фиксируются стопорными винтами. К особенностям установки, придерживающейся которых рекомендуют производители устройства и ряд авторов, можно отнести необходимость щадящей резекции позвонка (строго по размеру имплантата), что в условиях взрывных переломов (A3, A4) нередко бывает затруднительным. Одним из основных критерии оценки эффективности опорного спондилодеза является целостность замыкательных пластин позвонков, повреждение которых чревато проседанием имплантата и нестабильной фиксацией. Как указывается в литературных источниках [14, 25], при использовании гидравлических эндофиксаторов риск повреждения замыкательных пластин значимо ниже по сравнению с механическими, особенно у пациентов с остеопорозом, что ассоциируется авторами с более плавной дистракцией и физиологичной саморегуляцией опорных площадок. К относительным недостаткам можно отнести больший по сравнению с механическими системами процент потери коррекции (негерметичность камеры, нестабильная фиксация опорных площадок), замкнутость контура и низкую остеointеграцию, высокую стоимость. Также сомнительной является целесообразность применения имплантатов с гидравлическим лифтом в случае подострой и застарелой травмы, когда для коррекции сагittalного профиля при рекомендуемом экономном объеме резекции давления в 30 bar может оказаться недостаточно [14, 17].

Таким образом, можно сказать, что каждый из современных типов

устройств для опорного спондилодеза характеризуется специфической биомеханикой, особенности которой необходимо учитывать при планировании хирургических вмешательств.

#### *Анализ клинико-рентгенологической эффективности расширяемых эндофиксаторов*

Включенные в анализ публикации, касающиеся применения расширяемых имплантатов для опорного спондилодеза при хирургическом лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, представлены в табл. 2.

Как свидетельствуют литературные данные, современные расширяемые эндофиксаторы характеризуются широким спектром применения при травме позвоночника. Авторы демонстрируют благоприятные исходы хирургических вмешательств с различными комбинациями винтового спондилосинтеза и межтеловых имплантатов. Чаще всего публикации касаются сочетания транспедикулярной фиксации и переднего опорного спондилодеза в последовательности posterior/anterior (P/A). Объективные данные о положительном влиянии дистрагируемых имплантатов на результаты P/A-вмешательств приводятся в ряде исследований [17, 18, 20, 21, 28]. Grobost et al. [28] подчеркивают необходимость ранней реконструкции передней опорной колонны, которая, наряду с использованием расширяемых устройств, позволяет добиться стойкой реабилитации пациентов с повреждениями грудных и поясничных позвонков. При этом Pesenti et al. [20] говорят о средней потере достигнутой редукции через 12 мес. в пределах 1° и формировании полноценного костно-металлического блока в 100 % наблюдений, что согласуется с данными Lang et al. [17], согласно которым значения этих показателей составляют  $2,4^\circ \pm 4,0^\circ$  и 97,9 % соответственно. Также ряд специалистов отмечают ключевую роль современных эндофиксаторов в этапном (anterior/posterior/anterior – A/P/A) оперативном лечении фиксированных посттравматических кифозов [22].

Таблица 2

Результаты клинических исследований применения раздвижных эндофиксаторов

Источник	Количество наблюдений	Период наблюдения	Заключение
Graillon et al. [6]	93	12 мес.	Передний доступ с использованием расширяемого эндофиксатора является относительно безопасным и эффективным методом, обеспечивающим долгосрочное восстановление высоты позвонка и коррекцию кифотической деформации, при грудных переломах — без повреждения задней стенки
Pesenti et al. [20]	39	12 мес.	Комбинация чрескожной фиксации с передним спондилодезом расширяемым эндофиксатором обеспечивает стабильную коррекцию деформации, низкую частоту осложнений и быстрое снижение болевого синдрома
De la Cruz-Álvarez et al. [16]	8	21 мес.	Корпорэктомия из заднего доступа с установкой расширяемого имплантата и транспедикулярной фиксацией является эффективным методом лечения тораколюмбальных переломов, обеспечивающим декомпрессию, стабилизацию и коррекцию деформации позвоночника, при этом минимизирует риски, связанные с передним или комбинированным доступами, сокращает продолжительность операции и уменьшает интраоперационную кровопотерю
Pham et al. [15]	7	28,8 мес.	Корпорэктомия через задний доступ с транспедикулярной фиксацией и установкой раздвижных имплантатов — эффективная альтернатива комбинированным подходам, позволяющая избежать рисков переднего доступа
Richardson et al. [27]	42	12,9 мес.	Передняя корпорэктомия с реконструкцией расширяемым титановым эндофиксатором способна обеспечить полную декомпрессию спинного мозга, стабильное восстановление передней колонны и является относительно безопасной альтернативой задней фиксации
Lee et al. [11]	42	39,5 мес.	Расширяемые эндофиксаторы обеспечивают лучшую коррекцию угла кифоза и меньшую частоту осложнений, таких как проседание имплантата, по сравнению со статичными имплантатами
Grobost et al. [28]	44	12 мес.	Раннее выполнение корпорэктомии (в течение 72 ч после травмы) ассоциируется с лучшими функциональными исходами и меньшей частотой осложнений по сравнению с отсроченным вмешательством, особенно у пациентов с высоким риском несравнения (McCormack score $\geq 7$ )
Lindtner et al. [18]	37	38 мес.	Моносегментарная реконструкция передней колонны расширяемым эндофиксатором допустима при неполных взрывных переломах или переломах с единичной линией раскола замыкательной пластинки, сохраняя двигательный сегмент у молодых пациентов, тогда как при множественных линиях перелома или значительном повреждении замыкательной пластинки рекомендуется бисегментарная реконструкция
Smits et al. [21]	105	49 мес.	Торакоскопический доступ с использованием расширяемого имплантата является безопасным и эффективным методом для лечения нестабильных переломов, обеспечивая стабильную реконструкцию передней колонны позвоночника с низкой частотой осложнений и удовлетворительными долгосрочными функциональными исходами
Smits et al. [22]	14	26 мес.	Торакоскопический доступ с использованием расширяющей клетки обеспечивает стабильную коррекцию кифоза, высокий процент сращения и хорошие функциональные исходы при минимальной хирургической травме
Cappelletto et al. [26]	39	12 мес.	Расширяемые имплантаты обеспечивают стабильную реконструкцию, коррекцию деформации и восстановление высоты позвонка с низким риском осложнений
Lang et al. [17]	96	24 мес.	Использование расширяемого имплантата обеспечивает надежную стабилизацию, высокую частоту сращения и клинически незначительную потерю коррекции, при этом функциональные исходы остаются удовлетворительными даже в долгосрочной перспективе, несмотря на неполное восстановление качества жизни до нормы
Kreinest et al. [14]	47	36 мес.	Гидравлический расширяемый эндофиксатор обеспечивает долгосрочную стабильность, сохраняет коррекцию позвоночника и демонстрирует клинические результаты, сопоставимые с использованием костного аутотрансплантата

## Окончание таблицы 2

Результаты клинических исследований применения раздвижных эндофиксаторов

Источник	Количество наблюдений	Период наблюдения	Заключение
Kreinest et al. [25]	7	39 мес.	Комбинированная дорсовентральная стабилизация с использованием гидравлического имплантата позволяет достичь стабильной репозиции и долгосрочного удовлетворительного клинического результата у пациентов с многосегментарными переломами, хотя и не восстанавливает полностью прежнее качество жизни
Segi et al. [19]	46	24 мес.	Минимально-инвазивный латеральный доступ с использованием кейджа с прямоугольной опорной пластиной демонстрирует превосходство над традиционной методикой с цилиндрическим кейджем при лечении остеопоротических переломов позвоночника, обеспечивая меньшую интраоперационную кровопотерю, сокращение времени операции, снижение риска просадки имплантата и лучшую коррекцию деформации с высокой частотой костного сращения
Urbanski et al. [23]	28	12 мес.	Малоинвазивный заднебоковой транспедикулярный доступ при тораколюмбальной корпоректомии демонстрирует высокую эффективность в коррекции кифоза при посттравматических переломах тел позвонков. Результаты исследования показали значительное улучшение спинальной стабильности и неврологического статуса пациентов с коррекцией кифоза в среднем на 14,3° и низким процентом серьезных осложнений (7 %)
Felton et al. [24]	123	Не указано	Использование методики сборки эндофиксатора <i>in situ</i> в корпоректомическом пространстве позволяет раздельно транспортировать крупногабаритные компоненты имплантата, что упрощает их установку в условиях ограниченного операционного доступа. Ключевым преимуществом данного подхода является возможность увеличения диаметра торцевой пластины, что значительно повышает площадь опоры на смежные тела позвонков. Это снижает риск проседания имплантата и обеспечивает более стабильную фиксацию
Deml et al. [29]	48	21 мес.	Модульный расширяемый PEEK-имплантат для замещения тел позвонков доказал свою эффективность и безопасность при реконструкции передней колонны позвоночника после корпоректомии, обеспечивая стабильную коррекцию кифоза с минимальной потерей коррекции (1,6°) и высокой частотой сращения (92,1 %). Биомеханические преимущества и радиопрозрачность делают его перспективной альтернативой титановым аналогам
Ortiz Torres et al. [30]	96	14 мес.	Переднебоковая корпоректомия при взрывных переломах грудопоясничного отдела обеспечивает удовлетворительную коррекцию кифоза (средняя коррекция — 7,7°), однако в 36,5 % случаев наблюдается потеря коррекции, ассоциированная с использованием костных аутотрансплантатов, их смещением и субсиденцией, тогда как расширяемые титановые клетки демонстрируют лучшую стабильность

Благодаря появлению у межтеловых имплантатов механизмов вертикального лифта наметилась тенденция к модификации хирургической техники, в частности к изменению последовательности этапов вмешательства. Если раньше опорный спондилодез, как правило, завершал операцию, то в настоящее время предпочитают осуществлять его вместе с редукцией сегментарного кифоза. Рассматриваемая стратегия anterior/posterior

(А/Р) вмешательства применима исключительно при повреждениях типа А по классификации AOSpine, поскольку в этих случаях отсутствует риск трансляции, в отличие от трехлонговых повреждений типов В и С, где первоочередная задняя стабилизация (Р/А-подход) остается обязательной для предотвращения интраоперационного смещения позвонка. В этой связи появились исследования, изучающие эффективность опорного спондило-

деза в структуре А/Р-вмешательств. К примеру, Cappelletto et al. [26] представили клинико-рентгенологические исходы у 13 пациентов после передней реконструкции и транспедикулярной фиксации, сопоставимые с результатами привычной Р/А-методики.

Публикации, анализирующие функциональность расширяемых устройств при изолированных центральных вмешательствах, встречаются гораздо реже. Тем не менее исследования,

включенные в обзор, позволяют говорить о результативности прямой (межтеловой) редукции кифоза при острой тораколюмбальной травме, а также о надежности передней фиксации (эндофиксатор + винтовая передняя конструкция), которая допускает потери коррекции в рамках минимальных среднестатистических значений [6, 27].

Также интересными представляются исследования, касающиеся использования имплантатов расширяемого типа при экстракавитарном удалении грудных и поясничных позвонков. Техническими особенностями выполнения опорного спондилодеза из заднебокового доступа являются узкий коридор, ограниченный невральными структурами, а также расположение зоны резекции не под прямым углом хирургической атаки. Установить эндофиксатор адекватного размера в таких условиях нередко бывает затруднительно, что чревато осложнениями, связанными с проседанием устройства. В этой связи большинство специалистов рекомендуют использовать при заднебоковых вмешательствах имплантаты с функцией вертикального лифта. В частности, Lee et al. [11] приводят объективные данные, демонстрирующие лучшие корrigирующие и стабилизирующие возможности расширяемых эндофиксаторов по сравнению со статичными. Согласно De la Cruz-Álvarez et al. [16], дорсальные хирургические вмешательства с применением трансформирующихся имплантатов позволяют добиться адекватной редукции сегментарного кифоза и надежной стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника (потеря коррекции в пределах 1°). Также следует отметить специфичность заднебокового опорного спондилодеза в поясничном отделе позвоночника, которая обусловлена необходимостью установки имплантатов большого размера наряду с недопустимостью грубых манипуляций (чрезмерная тракция, резекция) со спинно-мозговыми корешками. Данное обстоятельство диктует целесообразность применения устройств с возможностью кратного увеличения продольного размера и модульной сборки в полости резекции. К примеру, Felton et al. [24] предложили способ последовательной установки и монтажа крупных узлов эндофиксатора (опорные площадки, центральный модуль) непосредственно в межтеловом пространстве, который продемонстрировал свою клиническую эффективность и безопасность.

Таким образом, анализ публикаций показал, что хирургическое лечение с использованием расширяемых

эндофиксаторов характеризовалось удовлетворительными клинико-рентгенологическими исходами вне зависимости от способа их установки. Данное обстоятельство, по всей видимости, обусловлено как положительными качествами современных имплантатов, так и малоинвазивным характером вмешательств, который в последнее время приветствуется большинством специалистов.

Для наглядного сравнения рентгенологических исходов применения эндофиксаторов с различными механизмами расширения составлена сводная таблица (табл. 3), в которой представлены данные о проседании имплантата и потере коррекции угла кифоза в послеоперационном периоде. Анализ демонстрирует, что все типы устройств обеспечивают стабильную реконструкцию с приемлемыми показателями потери коррекции, однако наблюдаются некоторые различия в зависимости от механизмов расширения.

Как видно из табл. 3, наименьшие показатели проседания и потери коррекции отмечаются при использовании имплантатов с гидравлическим и винтовым механизмами расширения. Устройства храпового типа демонстрируют более высокую, но все же клинически приемлемую степень про-

Таблица 3

Рентгенологические исходы применения расширяемых эндофиксаторов с различными механизмами расширения

Механизм расширения телозамещающего имплантата	Источник	Проседание, мм	Потеря коррекции, град.
Гидравлический (0,9 % стерильный раствор NaCl)	Kreinest et al. [14]	1,8 ± 1,9*	3,4 ± 3,1 за 36 мес.
	Kreinest et al. [25]	Данные не представлены	3,5 ± 2,0 за 39 мес.
Винтовой механизм расширения ( <i>in situ</i> )	Lang et al. [17]	2,4 ± 1,1	2,4 ± 4,0
	Lindtner et al. [18]	Данные не представлены	2,8 (медиана) за 38 мес.
	Deml et al. [29]	1,5 ± 0,7	1,6 ± 0,9
	Cappelletto et al. [26]	Данные не представлены	2,1**
	Pesenti et al. [20]	Данные не представлены	~1,0**
	Lee et al. [11]	3,5 ± 1,8	4,2 ± 2,1 (в группе расширяемых)
Самоблокирующийся храповый механизм	Graillon et al. [6]	7 % (частота >4 мм)	3,6**
	Urbanski et al. [23]	3,6 ± 1,7	2,1 ± 1,4
	Ortiz Torres et al. [30]	Данные не представлены	7,7**

\* Авторы значение 1,8 ± 1,9 мм указывают как «среднюю сегментарную высоту диска», которая косвенно отражает проседание; \*\* в исходной статье указано только среднее значение без стандартного отклонения.

седания и потери коррекции. Полученные данные согласуются с ранее описанными биомеханическими особенностями каждого типа имплантатов и подтверждают их общую эффективность в хирургической практике.

Также необходимо отметить, что в вышеперечисленных публикациях не проводится прямого сравнительного анализа ближайших и отдаленных клинических результатов в зависимости от типа расширяемого устройства. Несмотря на предметный поиск, научных работ с подобными задачами найти не удалось, поэтому выводы о преимущественной эффективности эндофиксаторов с разным механизмом расширения могут носить только косвенный характер. Тем не менее данные приведенных описательных исследований позволяют говорить о тождественности клинико-рентгенологических исходов при использовании как механических устройств, так и имплантатов гидравлического типа [14, 17, 26, 28].

Отдельно рассматривается вопрос опорного спондилодеза у пациентов с низкой минеральной плотностью костной ткани. Авторы сходятся во мнении, что расширяемые имплантаты при сопутствующем остеопорозе предпочтительнее статичных

из-за плавного и сбалансированного (соблюдение углов замыкательных пластин) заклинивания устройства между позвонками [7, 10, 19, 29]. Как считают некоторые специалисты [14, 25], в наибольшей степени данным требованиям соответствуют имплантаты гидравлического типа. Кроме того, ряд исследователей [8, 19, 24] считает, что риск пролабирования эндофиксатора у больных с сопутствующим остеопорозом может быть существенно нивелирован посредством использования опорных площадок большой площади.

### Заключение

Проведенный систематический обзор демонстрирует, что расширяемые телозамещающие имплантаты занимают важное место в современной хирургической вертебрологии, существенно расширяя технические возможности как при открытых, так и при малоинвазивных вмешательствах у пациентов с травмой позвоночника.

Анализ литературных источников показал, что современные расширяемые имплантаты характеризуются универсальностью применения: они эффективно используются при изолированных вентральных вмешатель-

ствах, в комбинации с транспедикулярной фиксацией по методикам P/A и A/P, а также при сложных многоуровневых реконструкциях. Особенno следует отметить их роль в малоинвазивной хирургии, когда возможность значительного увеличения высоты имплантата *in situ* и модульная система доставки позволяют выполнять адекватный спондилодез через ограниченные доступы.

Таким образом, расширяемые телозамещающие имплантаты стали не просто техническим усовершенствованием, а инструментом, позволяющим реализовывать персонализированный хирургический подход при травме позвоночника, адаптируя технику вмешательства к конкретным анатомическим условиям и особенностям патологии каждого пациента.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

- O'Toole JE, Kaiser MG, Anderson PA, Arnold PM, Chi JH, Dailey AT, Dhall SS, Eichholz KM, Harrap JS, Hoh DJ, Qureshi S, Rabb CH, Raksin PB. Congress of Neurological Surgeons systematic review and evidence-based guidelines on the evaluation and treatment of patients with thoracolumbar spine trauma: executive summary. *Neurosurgery*. 2019;84:2–6. DOI: 10.1093/neurology/nny394
- Gonschorek O, Hauck S, Weiß T, Bührer V. [Fractures of the thoracic and lumbar spine]. *Chirurg*. 2015;86:901–914; quiz 915–6. In German. DOI: 10.1007/s00104-015-0045-5
- Мазуренко А.Н., Матюшова Т.А. Вентральный спондилодез в хирургическом лечении оскольчатых переломов грудного и поясничного отделов позвоночника. *Медицинские новости*. 2022;(6):39–43. [Mazurenko AN, Matushova TA. Ventral stabilization and fusion in the surgical treatment of the thoraco-lumbar spine fractures. *Meditinskie novosti*. 2022;(6):39–43]. EDN: MOFAWK
- Усиков В.Д., Воронцов К.Е., Куфтов В.С., Ершов Н.И. Ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов. *Травматология и ортопедия России*. 2014;(2(72)):37–44. [Usikov VD, Vorontsov KE, Kuftov VS, Ershov NI. Early and long-term results of surgical treatment of the thoracic and lumbar vertebral and spinal trauma. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;(2(72)):37–44]. EDN: SIWBOV
- Tarhan T, Froemel D, Rickert M, Rauschmann M, Flege C. [History of vertebral body replacement]. *Unfallchirurg*. 2015;118 Suppl 1:73–79. In German. DOI: 10.1007/s00113-015-0084-x
- Graillon T, Farah K, Rakotozanany P, Blondel B, Adetchessi T, Dufour H, Fuentes S. Anterior approach with expandable cage implantation in management of unstable thoracolumbar fractures: Results of a series of 93 patients. *Neurochirurgie*. 2016;62:78–85. DOI: 10.1016/j.neuchi.2016.01.001
- Lau D, Song Y, Guan Z, La Marca F, Park P. Radiological outcomes of static vs expandable titanium cages after corpectomy: a retrospective cohort analysis of subsidence. *Neurosurgery*. 2013;72:529–539; discussion 528–529. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318282a558
- Вишневский А.А., Казбанов В.В., Баталов М.С. Титановые имплантаты в вертебрологии: перспективные направления. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(4):49–55. [Vishnevsky AA, Kazbanov VV, Batalov MS. Titanium implants in spine surgery: promising directions. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2015;12(4):49–55]. DOI: 10.14531/ss2015.4.49–55 EDN: VGMHVR

9. Klezl Z, Bagley CA, Bookland MJ, Wolinsky JP, Rezek Z, Gokaslan ZL. Harms titanium mesh cage fracture. *Eur Spine J.* 2007;16 Suppl 3:306–310. DOI: 10.1007/s00586-007-0377-z
10. Pekmezci M, Tang JA, Cheng L, Modak A, McClellan RT, Buckley JM, Ames CP. Comparison of expandable and fixed interbody cages in a human cadaver corpectomy model: fatigue characteristics. *Clin Spine Surg.* 2016;29:387–393. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31826eb0f7
11. Lee JH, Oh HS, Choi JG. Comparison of the posterior vertebral column resection with the expandable cage versus the nonexpandable cage in thoracolumbar angular kyphosis. *Clin Spine Surg.* 2017;30:E398–E406. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000236
12. Cumpston M, Li T, Page MJ, Chandler J, Welch VA, Higgins JP, Thomas J. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;10:ED000142. DOI: 0.1002/14651858.ED000142
13. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6:e1000097. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000097
14. Kreinest M, Schmahl D, Grützner PA, Matschke S. Radiological results and clinical patient outcome after implantation of a hydraulic expandable vertebral body replacement following traumatic vertebral fractures in the thoracic and lumbar spine: a 3-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2017;42:E482–E489. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001862
15. Pham MH, Tuchman A, Chen TC, Acosta FL, Hsieh PC, Liu JC. Transpedicular corpectomy and cage placement in the treatment of traumatic lumbar burst fractures. *Clin Spine Surg.* 2017;30:360–366. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000312
16. De la Cruz-Alvarez S, Canales-Nájera JA, Hurtado-Padilla A, Guevara-Villazón F, Ledezma-Ledezma J. Posterior corpectomy, transpedicular fixation and expandable cage placement in thoracolumbar fractures. *Acta Ortop Mex.* 2017;31:82–85. In Spanish
17. Lang S, Neumann C, Schwaiger C, Voss A, Alt V, Loibl M, Kerschbaum M. Radiological and mid- to long-term patient-reported outcome after stabilization of traumatic thoraco-lumbar spinal fractures using an expandable vertebral body replacement implant. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22:744. DOI: 10.1186/s12891-021-04585-y
18. Lindtner RA, Mueller M, Schmid R, Spicher A, Zegg M, Kammerlander C, Krappinger D. Monosegmental anterior column reconstruction using an expandable vertebral body replacement device in combined posterior-anterior stabilization of thoracolumbar burst fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018;138:939–951. DOI: 10.1007/s00402-018-2926-9
19. Segi N, Nakashima H, Kanemura T, Satake K, Ito K, Tsushima M, Tanaka S, Ando K, Machino M, Ito S, Yamaguchi H, Koshimizu H, Tomita H, Ouchida J, Morita Y, Imagama S. Comparison of outcomes between minimally invasive lateral approach vertebral reconstruction using a rectangular footplate cage and conventional procedure using a cylindrical footplate cage for osteoporotic vertebral fracture. *J Clin Med.* 2021;10:5664. DOI: 10.3390/jcm10235664
20. Pesenti S, Graillon T, Mansouri N, Rakotozanana P, Blondel B, Fuentes S. Minimal invasive circumferential management of thoracolumbar spine fractures. *Biomed Res Int.* 2015;2015:639542. DOI: 10.1155/2015/639542
21. Smits AJ, Noor A, Bakker FC, Deunk J, Bloemers FW. Thoracoscopic anterior stabilization for thoracolumbar fractures in patients without spinal cord injury: quality of life and long-term results. *Eur Spine J.* 2018;27:1593–1603. DOI: 10.1007/s00586-018-5571-7
22. Smits AJ, Deunk J, Bakker FC, Bloemers FW. Thoracoscopic correction of post-traumatic kyphosis with an expandable cage: radiologic and patient-reported outcomes. *Asian Spine J.* 2020;14:157–168. DOI: 10.31616/asj.2019.0062
23. Urbanski W, Zaluski R. Minimally invasive transpedicular posterolateral approach (MITPA) corpectomy in the treatment of traumatic or metastatic vertebral collapse with kyphosis. *Global Spine J.* 2025;15:3612–3618. DOI: 10.1177/21925682251325167
24. Felton J, John AA, Daneshfar SC, Cox CT, Grochmal J. Novel nerve-sparing in situ assembly of an expandable titanium cage to maximize endplate coverage after posterior corpectomy for comminuted lumbar burst fractures. *Oper Neurosurg.* 2023;25:386–393. DOI: 10.1227/ons.0000000000000827
25. Kreinest M, Schmahl D, Grützner PA, Matschke S. Trisegmental fusion by vertebral body replacement: Outcome following traumatic multisegmental fractures of the thoracic and lumbar spine. *Unfallchirurg.* 2018;121:300–305. In German. DOI: 10.1007/s00113-017-0335-0
26. Cappelletto B, Giorgiutti F, Balsano M. Evaluation of the effectiveness of expandable cages for reconstruction of the anterior column of the spine. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2020;28:2309499019900472. DOI: 10.1177/2309499019900472
27. Richardson B, Paulzak A, Rusyniak WG, Martino A. Anterior lumbar corpectomy with expandable titanium cage reconstruction: a case series of 42 patients. *World Neurosurg.* 2017;108:317–324. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.08.179
28. Grobost P, Boudissa M, Kerschbaumer G, Ruatti S, Tonetti J. Early versus delayed corpectomy in thoracic and lumbar spine trauma. A long-term clinical and radiological retrospective study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106:261–267. DOI: 10.1016/j.jotsr.2018.11.019
29. Deml MC, Mazurek Sepulveda CA, Albers CE, Hoppe S, Bigdon SF, Häckel S, Milavec H, Benneker LM. Anterior column reconstruction of the thoracolumbar spine with a new modular PEEK vertebral body replacement device: retrospective clinical and radiologic cohort analysis of 48 cases with 1.7-years follow-up. *Eur Spine J.* 2020;29:3194–3202. DOI: 10.1007/s00586-020-06464-x
30. Ortiz Torres MJ, Ravipati K, Smith CJ, Norby K, Pleitez J, Galichich W, Bergman T, Roark C, Siddiq F. Outcomes for standalone anterolateral corpectomy for thoracolumbar burst fractures. *Neurosurg Rev.* 2024;47:816. DOI: 10.1007/s10143-024-03049-w

#### Адрес для переписки:

Шувалов Станислав Дмитриевич  
 410002, Россия, Саратов, ул. Чернышевского, 148,  
 Саратовский государственный медицинский университет  
 им. В.И. Разумовского,  
 i@shuvalovstan.ru

#### Address correspondence to:

Shuvalov Stanislav Dmitrievich  
 V.I. Razumovsky Saratov State Medical University,  
 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia,  
 i@shuvalovstan.ru

Статья поступила в редакцию 01.07.2025

Рецензирование пройдено 22.09.2025

Подписано в печать 05.11.2025

Received 01.07.2025

Review completed 22.09.2025

Passed for printing 05.11.2025

*Станислав Дмитриевич Шувалов, врач-нейрохирург, младший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 148, eLibrary SPIN: 7454-5759, ORCID: 0000-0002-8095-9398, i@shuvalovstan.ru; Алексей Евгеньевич Шульга, канд. мед. наук, врач-нейрохирург, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 148, eLibrary SPIN: 4018-3890, ORCID: 0000-0001-8476-0231, doc.shulga@yandex.ru;*

*Сергей Петрович Бажанов, д-р мед. наук, врач-нейрохирург, начальник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 148, eLibrary SPIN: 2621-4519, ORCID: 0000-0001-9474-9095, baj.s@mail.ru;*

*Владимир Владимирович Островский, д-р мед. наук, врач-нейрохирург, директор научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 148, eLibrary SPIN: 7078-8019, ORCID: 0000-0002-8602-2715, sarniito@yandex.ru;*

*Владимир Сергеевич Толкачев, врач-нейрохирург, младший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 148, eLibrary SPIN: 9093-0492, ORCID: 0000-0001-6580-4403, vladimir.tolkache@yandex.ru.*

*Stanislav Dmitrievich Shuvalov, MD, neurosurgeon, junior researcher, Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebral Surgery, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia, eLibrary SPIN: 7454-5759, ORCID: 0000-0002-8095-9398, shuvalov.stan@yandex.ru;*

*Aleksey Evgenyevich Shulga, MD, PhD, neurosurgeon, senior researcher, Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebral Surgery, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia, eLibrary SPIN: 4018-3890, ORCID: 0000-0001-8476-0231, doc.shulga@yandex.ru;*

*Sergey Petrovich Bazhanov, DMSc, neurosurgeon, Head of the Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebral Surgery, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia, eLibrary SPIN: 2621-4519, ORCID: 0000-0001-9474-9095, baj.s@mail.ru;*

*Vladimir Vladimirovich Ostrovskij, DMSc, neurosurgeon, director of the Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia, eLibrary SPIN: 7078-8019, ORCID: 0000-0002-8602-2715, sarniito@yandex.ru;*

*Vladimir Sergeyevich Tolkachev, MD, neurosurgeon, junior researcher, Department of Innovative Projects for Neurosurgery and Vertebral Surgery, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 148 Chernyshevskogo str., Saratov, 410002, Russia, eLibrary SPIN: 9093-0492, ORCID: 0000-0001-6580-4403, vladimir.tolkache@yandex.ru.*